



日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年12月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-373678

[ ST.10/C ]:

[ JP 2002-373678 ]

出 願 人

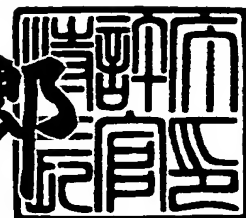
Applicant(s):

三菱電機株式会社

2003年 1月24日

特 許 庁 長 官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3000982

【書類名】 特許願

【整理番号】 542085JP01

【提出日】 平成14年12月25日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H02H 7/04  
H02J 3/00

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 薦田 広幸

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 平位 隆史

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 香山 治彦

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社  
社内

【氏名】 伊藤 弘基

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100102439

【弁理士】

【氏名又は名称】 宮田 金雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100092462

【弁理士】

【氏名又は名称】 高瀬 彌平

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 011394

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 変圧器励磁突入電流抑制装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器と、この三相変圧器の三相電源への投入および三相電源からの遮断を行う三相遮断器とでなる三相回路で、前記三相遮断器が投入されたときに前記三相変圧器に発生する過渡電流としての励磁突入電流を抑制する変圧器励磁突入電流抑制装置であって、

基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、

各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、

開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、

三相のうち前記残留磁束算出手段で算出された残留磁束の絶対値が最も大きい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段と、

前記閉極第一相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記閉極第一相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して閉極第一相の目標閉極位相として設定し、

残り二相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、

前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、

閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相0度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段と  
を備えた変圧器励磁突入電流抑制装置。

【請求項2】 一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器と、この三相変圧器の三相電源への投入および三相電源からの遮断を行う三相遮断器とでなる三相回路で、前記三相遮断器が投入されたときに前記三相変圧器に発生する過渡電流としての励磁突入電流を抑制する変圧器励磁突入電流抑制装置であって、

基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、

前記基準相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、

開極指令が入力されると、前記基準相以外の二相に対して開極制御信号を同時に出力した後、予め設定しておいた時間経過後に、前記基準相に対して開極制御信号を出力する開極制御手段と、

開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された基準相の変圧器側電圧を用いて、前記基準相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と

前記基準相については、前記基準相の位相0度を基準点として、前記基準相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して基準相の目標閉極位相として設定し、

残り二相については、前記基準相の位相0度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が0である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、

前記基準点から前記基準相の目標閉極位相までの時間を、前記基準相の目標閉

極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、

閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段と

を備えた変圧器励磁突入電流抑制装置。

【請求項 3】 一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器と、この三相変圧器の三相電源への投入および三相電源からの遮断を行う三相遮断器とでなる三相回路で、前記三相遮断器が投入されたときに前記三相変圧器に発生する過渡電流としての励磁突入電流を抑制する変圧器励磁突入電流抑制装置であって、

基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、

各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、

開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、

前記各相について、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち前記最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段と、

前記閉極第一相については、前記閉極順序決定手段で算出された前記閉極第一相の前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を前記閉極第一相の目標閉極位相として設定し、

残り二相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残

留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、

前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、

閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段と  
を備えた変圧器励磁突入電流抑制装置。

【請求項 4】 各相の主回路電流を測定する主回路電流測定手段と、

閉極制御手段から出力される各相の閉極制御信号、前記主回路電流測定手段で測定される各相の主回路電流、および予め求められている各相の耐電圧特性を用いて、各相の閉極制御信号が出力されてから閉極されるまでの実測閉極時間を算出する閉極時間算出手段とを備え、

前記閉極制御手段は、前記実測閉極時間を基に前記閉極制御信号を補正することを特徴とする請求項 1 ないし 3 の何れかに記載の変圧器励磁突入電流抑制装置

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、変圧器を三相電源に投入する際に発生する励磁突入電流を抑制するための変圧器励磁突入電流抑制装置に関し、特に、一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器の励磁突入電流を抑制する装置に関する。

【0002】

【従来技術】

変圧器の励磁突入電流を抑制する方式の一つとして、三相電源の特定位相において遮断器を投入する位相制御投入方式が挙げられる。本発明は、位相制御投入方式を用いた変圧器励磁突入電流抑制装置に関するものである。

## 【 0 0 0 3 】

従来のこの種の変圧器励磁突入電流抑制装置においては、電子装置としての最適投入位相演算装置の入力信号に適するように三相変圧器の相電圧を降圧する降圧手段により、三相変圧器が遮断されたときの過渡的に変化し最終的に零になる各相の相電圧を降圧し、この降圧された3つの相電圧を入力信号として残留磁束演算手段により電圧を時間積分することによって三相変圧器の鉄心内の残留磁束を演算し、投入位相演算手段により投入時の磁束と投入位相および残留磁束との関係式から導出される計算式を用いて励磁突流の発生しない3相それぞれ異なる最適の投入位相を演算してこの演算結果を最適投入位相演算装置の出力信号とし、この出力信号を遮断器の位相制御装置の投入位相信号として遮断器で各相個別に投入させている（例えば、特許文献1参照）。

## 【 0 0 0 4 】

また、別の、従来のこの種の変圧器励磁突入電流抑制装置においては、実用上の考慮点として、遮断器の機械的閉極時間ばらつき、遮断器のプレアークの影響等が挙げられている（例えば、非特許文献1参照）。

## 【 0 0 0 5 】

## 【特許文献1】

特許第2685574号明細書（第4-10頁、第1-10図）

## 【非特許文献1】

ジョン・H・ブランキ アンド クラウス・J・フローリッヒ (John H. Brunke and Klaus J. Frohlich) 著, 「エリミネーション オブ トランスフォーマー インラッシュ カレント バイ コントロールド スイッチング (Elimination of Transformer Inrush Current by Controlled Switching)」, アイイーイーイー トランザクションズ オン パワー デリバリー (IEEE TRANSACTIONS ON POWER DELIVERY), (米国), 2001年4月, 第16巻, 第2号, p. 276-285



## 【 0 0 0 6 】

## 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、特許文献 1 に記載された従来技術では、遮断器の機械的閉極時間ばらつきおよびプレアークの影響が考慮されておらず、これらの要素により最適投入位相からずれた点で投入が行われることがあり、その際に過大な励磁突入電流が発生してしまうという問題点があった。また、一相目が投入された後の残り二相の最適投入位相については、二次または三次巻線の三角結線によって発生する変圧器鉄心の直流磁束分の減衰が考慮されていないため、残り二相の最適投入位相が適切でなく、過大な励磁突入電流が発生してしまうという問題点があった。

また、非特許文献 2 に記載された従来技術では、遮断器の機械的閉極時間ばらつきおよびプレアークの影響の具体的な考慮の仕方が記載されていない。

## 【 0 0 0 7 】

本発明は、上記のような従来のもので問題点を解決するためになされたものであり、励磁突入電流の最大値を抑制して過大な励磁突入電流の発生を防止することができる変圧器励磁突入電流抑制装置を提供することを目的とするものである。

## 【 0 0 0 8 】

## 【課題を解決するための手段】

本発明に係る変圧器励磁突入電流抑制装置は、一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器と、この三相変圧器の三相電源への投入および三相電源からの遮断を行う三相遮断器とでなる三相回路で、前記三相遮断器が投入されたときに前記三相変圧器に発生する過渡電流としての励磁突入電流を抑制する変圧器励磁突入電流抑制装置であって、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、三相のうち前記残留磁束算出手段で算出された残留磁束の絶対値が最も大きい相を閉極第一相とする閉極順

序決定手段と、前記閉極第一相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記閉極第一相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のブレイク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して閉極第一相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のブレイク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたものである。

## 【 0 0 0 9 】

また、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、前記基準相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令が入力されると、前記基準相以外の二相に対して開極制御信号を同時に出力した後、予め設定しておいた時間経過後に、前記基準相に対して開極制御信号を出力する開極制御手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された基準相の変圧器側電圧を用いて、前記基準相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、前記基準相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記基準相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のブレイク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して基準相の目標閉極位相として設定し、残り二相については

、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記基準相の目標閉極位相までの時間を、前記基準相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたものである。

【 0 0 1 0 】

また、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、前記各相について、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち前記最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段と、前記閉極第一相については、前記閉極順序決定手段で算出された前記閉極第一相の前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を前記閉極第一相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の

目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたものである。

#### 【 0 0 1 1 】

##### 【発明の実施の形態】

##### 実施の形態 1.

図 1 ～ 図 4 は本発明の実施の形態 1 による変圧器励磁突入電流抑制装置（以下、変圧器を省略して励磁突入電流抑制装置と称することもある。）を説明するための図であり、より具体的には、図 1 は三相変圧器、三相遮断器および励磁突入電流抑制装置の主要部の構成を信号およびデータの流れと共に示すブロック回路図、図 2 は開極指令信号、変圧器側電圧および磁束信号の関係を説明するためのタイミングチャート、図 3 は投入磁束誤差を説明するための位相特性を示す図、図 4 は各閉極位相（電圧位相）における投入磁束誤差の一例を示す特性図である。

#### 【 0 0 1 2 】

三相変圧器 3 は星形結線の一次巻線と三角結線の二次または三次巻線とを備え、鉄心の図示は省略してある。一次巻線は三相電源 1 に三相遮断器 2 を介して接続されており、三相変圧器 3 の三相電源 1 への投入および三相電源 1 からの遮断の両方がこの三相遮断器 2 の開閉操作によって行われる。本実施の形態では、三相変圧器 3 が三相電源 1 から遮断されるときは、三相遮断器 2 は通常の三相遮断器と同じように三相の主接点を同時に動作させて三相一括開極される。一方、投入のときは、各相別々に制御された閉極位相に基づき閉極することのできる位相制御機能付の三相遮断器を用いている。

なお、本実施の形態では、三相電源 1 のうちのいずれかの一相を基準相と定義する。

基準相の電源側電圧 2 0 が電源側電圧測定手段 4 で測定され、閉極制御手段 1 3 に入力される。また、各相の変圧器側電圧（三相変圧器 3 の一次側の相電圧）2 1 が変圧器側電圧測定手段 5 で測定され、残留磁束算出手段 6 に入力される。なお、電源側電圧測定手段 4 および変圧器側電圧測定手段 5 としては、高電圧測定に一般的に用いられる計器用変圧器が用いられる。

#### 【 0 0 1 3 】

制御装置 1 0 0 0 は、例えばマイクロコンピュータベースのコントローラで構成されており、残留磁束算出手段 6、閉極順序決定手段 8、目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 および閉極制御手段 1 3 を備えている。

残留磁束算出手段 6 は、後に詳しく説明するように、開極指令 1 5 が入力されると、開極指令 1 5 入力時刻の前後における各相の変圧器側電圧 2 1 から各相の残留磁束 7、すなわち、三相変圧器 3 鉄心中の各相の残留磁束 7 を算出する。

閉極順序決定手段 8 は、三相遮断器 2 の各相の閉極順序 9 を決定する。本実施の形態では、各相のうち残留磁束算出手段 6 で求められた残留磁束 7 の絶対値が最も大きい相を閉極第一相とする。

目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 は、基準相の電源側電圧 2 0 の位相 0 度を基準として、各相の目標閉極時刻 1 1 を算出する。すなわち、後に詳しく説明するように、閉極順序決定手段 8 により決定された閉極第一相については、基準相の位相 0 度を基準点として、閉極第一相の残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して閉極第一相の目標閉極位相として設定し、基準点から閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、閉極第一相の目標閉極時刻として設定する。また、残り二相については、基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定し、基準点から残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源 1 の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、残り二相の目標閉極時刻として設定する。

閉極制御手段 13 は、後に詳しく説明するように、閉極指令 12 が入力されると、電源側電圧測定手段 4 から入力される基準相の電源側電圧 20 の位相 0 度を基準点として、目標閉極位相・時刻決定手段 10 で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、三相遮断器 2 へ閉極制御信号 14 を出力する。

#### 【0014】

以下、残留磁束算出手段 6 について図 2 を用いて詳細に説明する。

何らかの理由で三相遮断器 2 を動作させて三相変圧器 3 を三相電源 1 から遮断する必要があるとき、外部から開極指令 15 が入力される。この開極指令 15 は、直接三相遮断器 2 に通常の動作と同様にして遮断動作をさせる信号となるとともに、残留磁束算出手段 6 の入力信号となってこの残留磁束算出手段 6 による三相変圧器 3 の残留磁束演算の開始指令のための信号となる。

開極指令 15 が入力されると、三相遮断器 2 の機械的な動作時間経過後に遮断器 2 が開極される。図 2 に示すように、開極後の変圧器側電圧 21 は減衰振動をしながら収束して最終的にゼロ値となる。そこで、残留磁束算出手段 6 では、各相毎に、変圧器側電圧測定手段 5 から入力される変圧器側電圧 21 を積分することによって磁束信号 100 を算出し、開極指令 15 が入力されてから変圧器側電圧 21 がゼロ値に収束した時点の磁束値と開極指令 15 が入力される前の磁束信号の中心値 102 との差を残留磁束 7 として算出し、各相の残留磁束 7 を残留磁束算出手段 6 に出力する。

#### 【0015】

上記のように、残留磁束算出手段 6 では、開極指令 15 入力前後の変圧器側電圧 21 を用いて残留磁束 7 を算出する。そこで、変圧器側電圧測定手段 5 では、例えば、三相変圧器 3 が三相電源 1 に投入された時点から各相の変圧器側電圧 21 を測定し、開極指令 15 が入力された時点から一定時間（少なくとも変圧器側電圧 21 がゼロ値に収束するまでの時間であり、予め求めておく。）経過後に、測定を停止する。また、残留磁束算出手段 6 では、常に一定時間（開極指令 15 が入力される前の磁束信号の中心値 102 を求めることができる程度の時間であり、例えば三相電源の 1 周期に相当する時間）分さかのぼった時間までの各相の

変圧器側電圧 21 を記憶しておくように構成しておき、開極指令 15 が入力された時点から上記変圧器側電圧 21 がゼロ値に収束するまでの一定時間経過後に記憶を停止する。このようにして、開極指令 15 入力前後の変圧器側電圧 21 を取得するように構成することができる。

## 【0016】

なお、開極前の磁束信号 100 の中心値が算出可能であって、かつ変圧器側電圧 21 がゼロ値に収束する時点までの変圧器側電圧 21 が得られるものであれば、他の構成であってもよい。例えば、開極指令 15 の代わりに三相遮断器 2 の補助接点が開いた時点から一定時間経過後に上述の測定および記憶を停止することで、開極指令 15 入力前後の変圧器側電圧 21 を取得するように構成してもよいし、開極指令 15 の代わりに、変圧器側電圧 21 の実効値がゼロもしくは一定値以下となった時点で測定および記憶を停止することで、開極指令 15 入力前後の変圧器側電圧 21 を取得するように構成してもよい。

## 【0017】

次に、目標閉極位相・時刻決定手段 10 について詳細に説明する。

(1) 閉極第一相の目標閉極位相および目標閉極時刻決定について

まず、三相遮断器 2 の特性について説明する。

閉極制御手段 13 から閉極制御信号 14 が出力されると、ある機械的な動作時間経過後に三相遮断器 2 の接触子が機械的に接触する。接触子が機械的に接触する瞬間を閉極と呼び、閉極制御信号が出力されてから閉極するまでの時間を閉極時間と呼んでいる。また、閉極前に先行放電によって主回路電流が流れ始めることが知られている。この先行放電をプレアークと呼び、主回路電流が流れ始める瞬間を投入と呼ぶ。さらに、閉極制御信号 14 が出力されてから投入するまでの時間を投入時間と呼ぶ。

投入の瞬間は、三相遮断器 2 の接触子間に印加される電圧である極間電圧の絶対値に依存する。第一相投入時には変圧器側電圧 21 がゼロであるので、極間電圧は電源側電圧 20 に等しくなる。

## 【0018】

図 3 に示した耐電圧直線 201 は時刻 202 に閉極させた遮断器における、あ

る時刻での接触子間の耐電圧値を示している。ある時刻において耐電圧値よりも極間電圧の絶対値 2 0 4 が低い場合は、接触子間の耐電圧が上回っているため投入されないが、耐電圧直線 2 0 1 と極間電圧の絶対値 2 0 4 との交点である図 3 中の点 2 0 3 では、接触子間の耐電圧が極間電圧の絶対値 2 0 4 以下となるのでプレアークが発生して投入が行われる。よって、目標閉極位相を決定する際にはプレアーク特性を考慮する必要がある。なお、以下では、耐電圧直線 2 0 1 と極間電圧の絶対値 2 0 4 との交点を投入点と称する。

ところで、三相変圧器 3 投入時に発生する励磁突入電流を抑制するためには、電源側電圧 2 0 により投入後の定常状態において発生する磁束である定常磁束 2 0 5 と残留磁束 7 とが一致する瞬間で遮断器を投入すればよい。よって、図 3 に示した残留磁束 7 の場合、点 2 0 2 で閉極させれば、定常磁束 2 0 5 と残留磁束 7 とが一致する点 2 0 6 で投入されることになる。

#### 【 0 0 1 9 】

しかし、三相遮断器 3 には機械的な動作ばらつきに起因して正規分布状の閉極時間ばらつきが存在するため、必ずしも、目標閉極位相で投入されるとは限らない。図 3 中に、閉極時間ばらつき 2 0 0 を  $\pm 1 \text{ msec}$  とした場合の耐電圧直線の変動範囲を破線 2 2 1 と破線 2 2 2 で示している。また、三相遮断器 3 には極間の放電ばらつきが存在するので、耐電圧直線 2 0 1 は一定のばらつきを有することになる。図 3 中に耐電圧直線 2 0 1 の値が  $\pm 10\%$  ばらついた場合の耐電圧直線の変動範囲を実線 2 2 3 と実線 2 2 4 で示している。これらのばらつきを考慮すると、図 3 に示した例では点 2 0 7 ～点 2 0 8 の範囲にある何れかの位相で投入されることになる。このときの残留磁束 7 と投入点における定常磁束 2 0 5 との最大誤差の絶対値を投入磁束誤差 2 0 9 と定義する。すなわち、三相遮断器 3 投入後の定常状態における変圧器磁束を定常磁束と定義すると、三相遮断器 3 のプレアーク特性および閉極時間ばらつきを考慮して算出された一定範囲（点 2 0 6 ～点 2 0 8）内での投入点のばらつきによって発生する、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値を投入磁束誤差 2 0 9 と定義する。

投入磁束誤差 2 0 9 が大きくなるにつれて励磁突入電流は大きくなるので、励磁突入電流の最大値を抑制するために、残留磁束 7 に応じて投入磁束誤差が最小



となる閉極位相を目標閉極位相として設定すればよいことになる。

#### 【0020】

以上の遮断器特性（三相遮断器2のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性）を考慮して残留磁束7に対応する目標閉極位相を求める方法について一例を示す。

定格電圧印加時における三相変圧器3磁束の振幅を定格値で規格化して1PU（Per Unit）としたとき、閉極第一相の残留磁束が $-0.5PU$ であるとする。

閉極位相 $\theta_c$ を0度～360度の範囲内で一定間隔（例えば1度刻み）で変化させて、各電圧位相を閉極位相としたときの投入磁束誤差209を求める。

#### 【0021】

まず、投入磁束誤差の求め方について示す。

三相遮断器2の閉極時間ばらつきが $\pm 1\text{ msec}$ 、耐電圧直線201の傾きのばらつきが $\pm 10\%$ であるとする、閉極位相 $\theta_c$ を中心として

$$(\theta_c - 1\text{ msec}) \leq \alpha \leq (\theta_c + 1\text{ msec}),$$

かつ耐電圧直線201の中心値 $r_c$ を中心として

$$r_c \times 0.9 \leq r \leq r_c \times 1.1,$$

の範囲内で「定常磁束値－残留磁束値」が最大となる値を求める。

#### 【0022】

具体的には、位相 $\alpha$ と耐電圧直線201の傾き $r$ とを上記の範囲内で一定間隔毎に変化させて、耐電圧直線201と極間電圧の絶対値204との交点を求めていく。

電源側電圧 $y_{p1}$ は、電圧の最大振幅を1PUとして、 $y_{p1} = \sin \theta$ とおく。

変圧器側電圧 $y_{t1}$ はゼロ（ $y_{t1} = 0$ ）であるで、

極間電圧 $y_{i1}$ は、 $y_{i1} = y_{p1} - y_{t1} = \sin \theta$ となり、耐電圧直線 $y_w$ は、 $y_w = r \times (\theta - \alpha)$ となる。

交点は $|y_{i1}| = y_w$ となる $\theta$ である。交点が複数の場合は電圧の絶対値が最大の交点を使用する。交点における定常磁束値 $b_1$ は電源側電圧より90度位

相が遅れているので、定常磁束 205 の最大振幅を 1 P U とすると、

$$b_1 = \sin(\theta - 90^\circ)$$

として求めることが出来る。

これを上記  $\alpha$  と  $r$  の範囲内で繰り返して定常磁束値を求めていく。この中で | 定常磁束値 - 残留磁束値 | の最大値が閉極位相  $\theta_c$  における投入磁束誤差である。

#### 【0023】

なお、三相遮断器 2 の閉極時間ばらつきの値、耐電圧直線の傾きおよび耐電圧直線の傾きのばらつき（プレアーク特性）については、事前に三相遮断器 2 の特性を調べた上で与えておくものとする。

#### 【0024】

例えば、閉極位相が点 202 であれば点 203 が耐電圧直線 201 と極間電圧の絶対値 204 との交点であり、そのときの定常磁束値は点 206 となる。これを閉極時間ばらつきおよび耐電圧直線の傾きのばらつきで繰り返すと定常磁束値の範囲は点 207 ~ 点 208 となる。残留磁束値 7 は点 206 であるので、投入磁束誤差は線分 209 に相当する。

#### 【0025】

以上の処理を、閉極位相  $\theta_c$  が 0 度 ~ 360 度の範囲内で繰り返して求めた投入磁束誤差の一例を図 4 に示す。この場合、 $\theta_1$  (度) で投入磁束誤差 209 が最小となるので、目標閉極位相は  $\theta_1$  である。したがって、 $\theta_1$  で閉極されるように目標閉極時刻を設定する。なお、このとき点 211 で投入されるように制御を行うことになる。

閉極第一相と基準相との位相差を  $P$  (度) とし、電源の周波数を  $f$  (Hz) とすると、基準相の 0 度点を基準点としたときの閉極第一相の目標閉極時刻  $T_1$  (msec) は、

$$T_1 = ((\theta_1 + P) / 360) \times (1000 / f)$$

で求められる。

#### 【0026】

(2) 残り二相の目標閉極位相および目標閉極時刻決定について

閉極第一相投入後、三相変圧器 3 の三角結線により、残り二相の変圧器側電圧には閉極第一相の逆位相で  $1/2$  の振幅の電圧が誘起される。また、鉄心磁束の均一化現象により残り二相に存在していた残留磁束による直流分は減衰し、閉極第一相投入後数サイクル経過すると直流分がほぼゼロになる性質がある。このような、直流分がほぼゼロになるサイクル数を予め実測により求めて設定しておくことによって、前記基準点から予め設定しておいた三相電源 1 の周期の整数倍に相当する遅延時間経過後においては残留磁束の影響を無視することができる。この性質を利用して、残り二相の目標閉極時刻は、前記基準点から予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間  $K$  (m s e c) 経過後の特定位相とする。

【0 0 2 7】

残り二相の電源側電圧  $y_{p2}$ 、 $y_{p3}$  は、それぞれ

$$y_{p2} = \sin(\theta - 120^\circ)$$

$$y_{p3} = \sin(\theta - 240^\circ)$$

変圧器側電圧  $y_{t2}$ 、 $y_{t3}$  は、それぞれ、

$$y_{t2} = \sin(\theta - 180^\circ) / 2$$

$$y_{t3} = \sin(\theta - 180^\circ) / 2$$

となる。よって残り二相の極間電圧  $y_{i2}$ 、 $y_{i3}$  は、それぞれ

$$y_{i2} = y_{p2} - y_{t2} = (3^{1/2} / 2) \times \sin(\theta - 90^\circ)$$

$$y_{i3} = y_{p3} - y_{t3} = -(3^{1/2} / 2) \times \sin(\theta - 90^\circ)$$

となる。

閉極第一相と同様に、耐電圧直線 2 0 1 と極間電圧の絶対値 2 0 4 との交点、すなわち

$$|y_{i2}| = |y_{i3}| = y_w$$

となる  $\theta$  を求める。

残り二相の定常磁束値  $b_2$ 、 $b_3$  は、それぞれ

$$b_2 = \sin(\theta - 120^\circ - 90^\circ)$$

$$b_3 = \sin(\theta - 240^\circ - 90^\circ)$$

として求めることが出来る。

残留磁束＝0として、閉極第一相と同様に投入磁束誤差が最小となる位相 $\theta_2$  (度)を求めればよい。なお、残り二相においてこの位相 $\theta_2$ は同一の値となる。

## 【0028】

閉極第一相と基準相との位相差をP (度)とし、電源の周波数をf (Hz)とすると、基準相の0度点を基準点としたときの残り二相の目標閉極時刻 $T_2$  (msec)および $T_3$  (msec)は、

$$T_2 = T_3 = K + ((\theta_2 + P) / 360) \times (1000 / f)$$

で求められる。

## 【0029】

なお、本実施の形態では、目標閉極位相決定手段と目標閉極時刻決定手段とを合わせた目標閉極位相・時刻決定手段10を設けた場合について説明したが、目標閉極位相決定手段と目標閉極時刻決定手段とを別々に設けてもよいのは言うまでもない。

## 【0030】

次に、閉極制御手段13について詳細に説明する。

閉極指令12が入力されると、目標閉極位相・時刻決定手段10で得られた $T_1$  (msec)、 $T_2$  (msec)、 $T_3$  (msec)と、閉極第一、第二および第三相における次回の予測閉極時間 $E_1$  (msec)、 $E_2$  (msec)、 $E_3$  (msec)とを用いて各相の制御信号出力ディレイ $D_1$  (msec)、 $D_2$  (msec)、 $D_3$  (msec)を以下の式で算出する。ここで、 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$ は、予め測定しておいた、三相遮断器2の各相の閉極時間に基づいて決定してもよいし、三相遮断器2の動作条件である制御電圧・周囲温度・操作圧力を反映した補正を行った上で予測された閉極時間を用いてもよい。

## 【0031】

なお、以下の式において、 $\text{mod}(A, B)$ はAをBで割った余りに相当する。 $n$ は $D_1 > 0$ かつ $D_2 > 0$ かつ $D_3 > 0$ で $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$ が最小となるような値である。 $*$ は積を表す記号である。

$$D_1 = 1000 / f * (n + 1) - \text{mod}(E_1 - T_1, 1000 / f)$$

$$D_2 = 1000 / f * n + D_1 + (T_2 - T_1) + (E_1 - E_2)$$

$$D_3 = 1000 / f * n + D_1 + (T_3 - T_1) + (E_1 - E_3)$$

【0032】

基準相の電源側電圧 20 の位相 0 度点を検出した時点からタイマをスタートさせ、各相について  $D_1$ 、 $D_2$ 、 $D_3$  が経過した時点で閉極制御信号を各々出力する。基準相の電源側電圧 20 の位相 0 度点の検出は、例えば、電源側電圧 20 の値が負から正に変化するゼロクロス点を検出すればよい。

【0033】

なお、上記では閉極制御手段 12 の一構成例を示したが、基準相の電源側電圧 20 の位相 0 度点から、目標閉極位相・時刻決定手段 10 で得られた各相の目標閉極時刻  $T_1$ 、 $T_2$ 、 $T_3$  (m s e c) 経過後において、三相遮断器 2 の各相を閉極させることがこの発明の主旨であり、この主旨を逸脱しない範囲での構成がこの発明に含まれることはいうまでもない。

【0034】

遮断器特性を考慮すると、残留磁束の絶対値が大きくなるほど目標閉極時刻における投入磁束誤差が小さくなる性質があるが、本実施の形態によれば、閉極順序決定手段 8 において、各相のうち残留磁束の絶対値が最も大きい相を閉極第一相としたので、閉極第一相の励磁突入電流の最大値を抑制することができる。

また、目標閉極位相・時刻決定手段 10 において、各相の目標閉極位相および時刻を三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性並びに残留磁束に応じて決定するように構成したので、励磁突入電流の最大値を抑制することができる。

また、目標閉極位相・時刻決定手段 10 において、残り二相（閉極第二相および第三相）の目標閉極時刻を、一相目が投入された後の変圧器鉄心における直流磁束分の減衰を考慮して決定するように構成したので、閉極第二相および第三相の励磁突入電流の最大値を抑制することができる。

したがって、過大な励磁突入電流の発生を防止することができる。

【0035】

なお、上記実施の形態では、残留磁束算出手段 6、閉極順序決定手段 8、目標

閉極位相・時刻決定手段 1 0 および閉極制御手段 1 3 が 1 つの制御装置 1 0 0 0 のマイクロコンピュータに実装されるソフトウェアプログラムあるいはソフトウェアプログラムおよびメモリにより実現されている場合について示したが、これに限るものではなく、それぞれ別の制御装置であってもよい。これは、以下の各実施の形態においても同様である。

#### 【 0 0 3 6 】

実施の形態 2.

図 5 は本発明の実施の形態 2 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図であり、より具体的には、三相変圧器、三相遮断器および励磁突入電流抑制装置の主要部の構成を信号およびデータの流れと共に示すブロック回路図である。

#### 【 0 0 3 7 】

本実施の形態では、実施の形態 1 で示した図 1 において、三相遮断器 2 の各相の開極を制御する開極制御手段 6 1 6 と開極制御信号 1 7 を追加し、変圧器側電圧測定手段 6 0 5 で基準相の変圧器側電圧 6 2 1 を測定し、残留磁束算出手段 6 0 6 で基準相の残留磁束 6 0 7 を算出する。また、基準相を閉極第一相とするので、閉極順序決定手段 8 は不要である。他の構成は実施の形態 1 と同様であるので、以下では、実施の形態 1 と異なる点について主に説明する。

#### 【 0 0 3 8 】

まず、開極制御手段 6 1 6 について説明する。

本実施の形態では、開極制御手段 6 1 6 は、残留磁束算出手段 6、目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 および閉極制御手段 1 3 と共に制御装置 1 0 0 0 に含まれている。

開極指令 1 5 が入力されると、基準相以外の二相（これら二相を開極先行二相と称する。）に対して開極制御信号を同時に出力した後、予め設定しておいた時間 P 経過後に、基準相に対して開極制御信号を出力する。なお、時間 P は、開極先行二相に対して開極制御信号を同時に出力した時点から、後述する開極先行二相の磁束信号がほぼ同一値となり、かつ基準相の磁束信号の逆位相で振幅が定格の  $1/2$  となるまでの時間であり、予め求めておく。具体的には、例えば、時間

P は、三相電源 1 の周期の数倍程度に相当する時間である。

【 0 0 3 9 】

開極先行二相が開極されると、三相変圧器 3 の三角結線により、開極先行二相の変圧器側電圧には基準相の逆位相で  $1/2$  の振幅の電圧が誘起される。また、鉄心磁束の均一化現象により開極先行二相の鉄心磁束値が近づいていき、予め設定しておいた時間 P が経過すると磁束信号はほぼ同一値となり、かつ基準相の磁束信号の逆位相で振幅が定格の  $1/2$  となる。この状態で基準相を開極すると、開極直前の開極先行二相の磁束ピーク値は定格の  $1/2$  であるので、開極先行二相の残留磁束は  $1/2$  以下となる。また、基準相開極直前における開極先行二相の鉄心磁束値はほぼ同一であったので、開極先行二相の残留磁束は同一符号でほぼ同一値に収束する。三相変圧器 3 の三角結線により残留磁束の総和は 0 となるので、基準相の残留磁束は、開極先行二相と逆符号で相対的に大きな値（絶対値が開極先行二相の残留磁束のほぼ 2 倍）とすることができる。

【 0 0 4 0 】

したがって、実施の形態 1 のように、三相のうち残留磁束の絶対値が最も大きい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段 8 を備えることなく、基準相を閉極第一相とすることができる。

【 0 0 4 1 】

目標閉極位相・時刻決定手段 10 では、残留磁束算出手段 606 で算出された閉極第一相である基準相の残留磁束 607 を用いて、実施の形態 1 の場合と同様に、各相の目標閉極位相および目標閉極時刻を決定する。すなわち、詳細な説明は実施の形態 1 の場合と同様であるので省略するが、閉極第一相（基準相）については、基準相の位相 0 度を基準点として、基準相の残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して基準相の目標閉極位相として設定し、基準点から基準相の目標閉極位相までの時間を、基準相の目標閉極時刻として設定する。また、残り二相（開極先行二相）については、基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に投入磁束誤差が最小

となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定し、基準点から残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、残り二相の目標閉極時刻として設定する。

#### 【0042】

閉極制御手段13では、実施の形態1の場合と同様に、閉極指令12が入力されると、電源側電圧測定手段4から入力される基準相の電源側電圧20の位相0度を基準点として、目標閉極位相・時刻決定手段10で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、三相遮断器2へ閉極制御信号14を出力する。

#### 【0043】

以上説明したように、本実施の形態によれば、開極指令15が入力されると、基準相以外の二相（開極先行二相）に対して開極制御信号を同時に出力した後、予め設定しておいた時間経過後に、基準相に対して開極制御信号を出力する開極制御手段616を備えたので、上記実施の形態1の効果に加えて次の効果が得られる。基準相以外の二相の残留磁束値をほぼ等しくすることができ、基準相投入後における残り二相の磁束の直流分は直ちにゼロとなる。よって、目標閉極時刻決定手段における遅延時間を最小化することができる。これにより、三相変圧器3が不平衡となる時間が短くなるので、三相変圧器3へのストレスを最小化できるとともに、制御による遅延を最小化できる。

また、変圧器側電圧の測定および残留磁束の算出は一相（基準相）についてのみ実施すればよい。その結果、変圧器側電圧測定のための計器を実施の形態1の3個から1個に減らすことができる。しかも、残留磁束算出手段606も実施の形態1のものに比べて簡略化できる。

さらに、閉極順序決定手段8が不要となる。

#### 【0044】

実施の形態3.

図6は本発明の実施の形態3による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図であり、より具体的には、各残留磁束に対する最小投入磁束誤差の関係の



一例を示す特性図である。図 6 において、縦軸および横軸の単位は P U であり、例えば図 3 の縦軸と同様に、定格電圧印加時における三相変圧器 3 磁束の振幅を 1 P U として規格化して示している。

なお、三相変圧器、三相遮断器および励磁突入電流抑制装置の主要部の構成を信号およびデータの流れと共に示すブロック回路図は図 1 と同じである。

#### 【 0 0 4 5 】

実施の形態 1 では、閉極順序決定手段 8 において、三相のうち残留磁束算出手段 6 で算出された残留磁束 7 の絶対値が最も大きい相を閉極第一相としたが、本実施の形態では、各相について、基準相の位相 0 度を基準点として、残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする。他の構成は実施の形態 1 と同様であるので、以下では、実施の形態 1 と異なる点について主に説明する。

#### 【 0 0 4 6 】

以下、閉極順序決定手段 8 について説明する。

実施の形態 1 の「(1) 閉極第一相の目標閉極位相および目標閉極時刻決定について」で説明したように、予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差を、各残留磁束（例えば、残留磁束の絶対値 (P U) が 0、0. 1、...、0. 9、1）についてそれぞれ算出することができる。図 6 は算出結果である。図 6 より、必ずしも残留磁束の絶対値が大きくなるほど目標閉極時刻における投入磁束誤差が小さくなっていないことがわかる。なお、図 6 のような特性は、全ての遮断器において得られるのではなく、特に、耐電圧直線の傾きが小さい遮断器において現れる。

例えば、各相（仮に、A 相、B 相、C 相とする。）の残留磁束が（A 相、B 相、C 相）=（+0. 8 P U、-0. 7 P U、-0. 1 P U）であるとする、図 6 より、B 相の残留磁束に対応して求めた最小投入磁束誤差が最小となっていることが分かる。

## 【 0 0 4 7 】

そこで、閉極順序決定手段 8 では、各相について、基準相の位相 0 度を基準点として、残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする。このように、最小投入磁束誤差が最小となる B 相を閉極第一相とすれば、投入時における投入磁束誤差を確実に最小にすることができる。すなわち、遮断器特性を考慮した閉極第一相の励磁突入電流の最大値を確実に抑制することができる。

## 【 0 0 4 8 】

目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 では、閉極順序決定手段 8 により決定された閉極第一相については、閉極順序決定手段 8 で算出された閉極第一相の投入磁束誤差が最小となる閉極位相を閉極第一相の目標閉極位相として設定し、基準点から閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、閉極第一相の目標閉極時刻として設定する。また、残り二相については、基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている三相遮断器 2 のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定し、基準点から残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、残り二相の目標閉極時刻として設定する。

## 【 0 0 4 9 】

閉極制御手段 1 3 では、実施の形態 1 の場合と同様に、閉極指令 1 2 が入力されると、電源側電圧測定手段 4 から入力される基準相の電源側電圧 2 0 の位相 0 度を基準点として、目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、三相遮断器 2 へ閉極制御信号 1 4 を出力する。

## 【 0 0 5 0 】

以上説明したように、遮断器の耐電圧直線の傾きが小さい遮断器の場合、必ずしも残留磁束の絶対値が大きくなるほど目標閉極時刻における投入磁束誤差が小

さくなるとは限らない。本実施の形態によれば、各相について、基準相の位相 0 度を基準点として、残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器のブレード特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段 8 を備えたので、閉極第一相の励磁突入電流の最大値をより確実に抑制することができる。

したがって、過大な励磁突入電流の発生をより確実に防止することができる。

#### 【 0 0 5 1 】

実施の形態 4 .

図 7 ～図 9 は本発明の実施の形態 4 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図であり、より具体的には、図 7 は三相変圧器、三相遮断器および励磁突入電流抑制装置の主要部の構成を信号およびデータの流れと共に示すブロック回路図、図 8 は閉極指令信号、主回路電流および高域信号の関係を説明するためのタイミングチャート、図 9 は実測投入時間から実測閉極時間を算出する方法を説明するための位相特性を示す図である。

#### 【 0 0 5 2 】

本実施の形態では、実施の形態 2 で示した図 5 において、各相の主回路電流 7 0 4 を測定する主回路電流測定手段 7 0 1 と、閉極制御手段 1 3 から出力される各相の閉極制御信号 1 4、主回路電流測定手段 7 0 1 で測定される各相の主回路電流 7 0 4、および予め求められている各相の耐電圧特性を用いて、各相の閉極制御信号 1 4 が出力されてから閉極されるまでの実測閉極時間 7 0 3 を算出する閉極時間算出手段 7 0 2 とを備え、閉極制御手段 7 1 3 において、実測閉極時間 7 0 2 を基に閉極制御信号 1 4 を補正する。他の構成は実施の形態 2 と同様であるので、以下では、実施の形態 2 と異なる点について主に説明する。なお、主回路電流測定手段 7 0 1 としては、電流測定に一般的に用いられる計器用変流器が用いられる。

#### 【 0 0 5 3 】

まず、閉極時間算出手段 7 0 2 について説明する。

本実施の形態では、閉極時間算出手段 7 0 2 は、残留磁束算出手段 6、目標閉

極位相・時刻決定手段 1 0、閉極制御手段 1 3 および開極制御手段 6 1 6 と共に制御装置 1 0 0 0 に含まれている。

図 8 に投入時の主回路電流 7 0 2 の様子の一例を示している。投入の瞬間には主回路電流 7 0 2 に高周波サージが発生するため、閉極制御信号 1 4 が出力された時点から主回路電流 7 0 2 の計測を開始し、高周波帯域のみを取り出すことで投入の瞬間を強調した高域信号 7 2 1 を得る。そして、高域信号 7 2 1 がある閾値以上となった点を投入点 7 2 3 とし、閉極制御信号 1 4 出力から投入点 7 2 3 までの時間を実測投入時間 7 2 2 とする。

#### 【 0 0 5 4 】

実測投入時間 7 2 2 から実測閉極時間 7 0 3 を算出する方法を図 9 を用いて説明する。図 9 に示しているように、予め投入位相に対する極間電圧の絶対値の特性 2 0 4 がわかっているので、投入点 7 2 3 の投入位相から投入電圧 7 2 6 を知ることができる。投入電圧 7 2 6 を、予め測定しておいた耐電圧直線 2 0 1 の傾きで割り算することで、プレアーク時間 7 2 5 が算出される。この場合、閉極点は点 7 2 4 となる。実測閉極時間 7 0 3 は投入時間にプレアーク時間 7 2 5 を足した値として算出される。

#### 【 0 0 5 5 】

閉極制御手段 7 1 3 について、実施の形態 1 で示した閉極制御手段 1 3 と異なる点である、本実施の形態において追加された実測閉極時間を基に閉極制御信号を補正すること（予測閉極時間の補正）について主に説明する。

実施の形態 1 で示した閉極制御手段 1 3 では、閉極指令 1 2 が入力されると、目標閉極位相・時刻決定手段 1 0 で得られた  $T_1$  (msec)、 $T_2$  (msec)、 $T_3$  (msec) と、閉極第一、第二および第三相における次回の予測閉極時間  $E_1$  (msec)、 $E_2$  (msec)、 $E_3$  (msec) とを用いて各相の制御信号出力ディレイ  $D_1$  (msec)、 $D_2$  (msec)、 $D_3$  (msec) を算出した。ここで、 $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  は、予め測定しておいた、三相遮断器 2 の各相の閉極時間に基づいて決定したり、三相遮断器 2 の動作条件である制御電圧・周囲温度・操作圧力を反映した補正を行った上で予測された閉極時間を用いたりした。

## 【 0 0 5 6 】

これに対して、本実施の形態では、次回の予測閉極時間  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  について、新たに、過去の動作履歴に基づいた補正（以下、動作履歴補正と称する。）を行う。例えば、実測閉極時間 7 0 3 と、動作履歴補正前の予測閉極時間について、過去  $n$  回（例えば、過去 1 0 回）についての誤差を求め、誤差に重み付けをして過去の動作履歴に基づいた補正時間  $\Delta T$  を算出する。すなわち、過去  $i$  回目の動作における誤差に重み係数  $w(i)$  を乗じて過去  $n$  回分にわたり加算し、補正時間  $\Delta T$  を算出する。

$$\Delta T = \sum \{ w(i) \times (\text{実際の閉極時間}(i) - \text{動作履歴補正前の予測閉極時間}(i)) \}$$

$$(i = 1 \sim n)$$

重み係数  $w(i)$  は総和が 1 となるようにする。また、重み係数については、閉極時間の変動に対する応答性をよくするために、直近のデータに対する係数を大きくするのが望ましい。

予測閉極時間  $E_1$ 、 $E_2$ 、 $E_3$  は、動作履歴補正前の予測閉極時間に上記の  $\Delta T$  を足した値とする。

## 【 0 0 5 7 】

以上説明したように、本実施の形態によれば、各相の主回路電流 7 0 4 を測定する主回路電流測定手段 7 0 1 と、閉極制御手段 1 3 から出力される各相の閉極制御信号 1 4、主回路電流測定手段 7 0 1 で測定される各相の主回路電流 7 0 4、および予め求められている各相の耐電圧特性を用いて、各相の閉極制御信号 1 4 が出力されてから閉極されるまでの実測閉極時間 7 0 3 を算出する閉極時間算出手段 7 0 2 とを備え、閉極制御手段 7 1 3 において、実測閉極時間 7 0 2 を基に閉極制御信号 1 4 を補正するので、各相をそれぞれの目標閉極時刻で正確に閉極させることができる。これにより、励磁突入電流をより確実に抑制することができる。

## 【 0 0 5 8 】

なお、図 7 では、本実施の形態を実施の形態 2 で示した変圧器励磁突入電流抑制装置に適用した場合について示したが、本実施の形態は、実施の形態 1 あるい

は 3 で示した変圧器励磁突入電流抑制装置に適用してもよく、同様の効果が得られる。

【 0 0 5 9 】

【発明の効果】

以上のように、本発明によれば、一次巻線が中性点接地された星形結線であり二次または三次巻線が三角結線である三相変圧器と、この三相変圧器の三相電源への投入および三相電源からの遮断を行う三相遮断器とでなる三相回路で、前記三相遮断器が投入されたときに前記三相変圧器に発生する過渡電流としての励磁突入電流を抑制する変圧器励磁突入電流抑制装置であって、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、三相のうち前記残留磁束算出手段で算出された残留磁束の絶対値が最も大きい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段と、前記閉極第一相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、前記閉極第一相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して閉極第一相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、前記基準相の位相 0 度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が 0 である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相 0 度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前

記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたので、励磁突入電流の最大値を抑制して過大な励磁突入電流の発生を防止することができる。

## 【 0 0 6 0 】

また、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、前記基準相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令が入力されると、前記基準相以外の二相に対して開極制御信号を同時に出力した後、予め設定しておいた時間経過後に、前記基準相に対して開極制御信号を出力する開極制御手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された基準相の変圧器側電圧を用いて、前記基準相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、前記基準相については、前記基準相の位相0度を基準点として、前記基準相の残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して基準相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、前記基準相の位相0度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が0である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記基準相の目標閉極位相までの時間を、前記基準相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、開極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相0度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたので、励磁突入電流の最大値を抑制して過大な励磁突入電流の発生を防止することができる。さらに、三相変圧器へのストレスを最小化できるとともに、制御による遅延を最小化できる。

## 【 0 0 6 1 】

また、基準相となる三相のうちのいずれかの一相の電源側電圧を測定する電源側電圧測定手段と、各相の変圧器側電圧を測定する変圧器側電圧測定手段と、開極指令入力時刻前後における前記変圧器側電圧測定手段で測定された各相の変圧器側電圧を用いて、各相の残留磁束を算出する残留磁束算出手段と、前記各相について、前記基準相の位相0度を基準点として、前記残留磁束、並びに予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相および最小投入磁束誤差をそれぞれ算出し、三相のうち前記最小投入磁束誤差が最も小さい相を閉極第一相とする閉極順序決定手段と、前記閉極第一相については、前記閉極順序決定手段で算出された前記閉極第一相の前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を前記閉極第一相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、前記基準相の位相0度を基準点として、予め求められている前記三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が0である場合に前記投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定する目標閉極位相決定手段と、前記基準点から前記閉極第一相の目標閉極位相までの時間を、前記閉極第一相の目標閉極時刻として設定し、前記基準点から前記残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、前記残り二相の目標閉極時刻として設定する目標閉極時刻決定手段と、閉極指令が入力されると、前記電源側電圧測定手段から入力される基準相の電源側電圧の位相0度を基準点として、前記目標閉極時刻決定手段で算出された各相の目標閉極時刻において各相を閉極させるように、前記三相遮断器へ閉極制御信号を出力する閉極制御手段とを備えたので、励磁突入電流の最大値をより確実に抑制して過大な励磁突入電流の発生をより確実に防止することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の実施の形態1による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図2】 本発明の実施の形態1による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。



【図 3】 本発明の実施の形態 1 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図 4】 本発明の実施の形態 1 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図 5】 本発明の実施の形態 2 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図 6】 本発明の実施の形態 3 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図 7】 本発明の実施の形態 4 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【図 8】 本発明の実施の形態 4 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

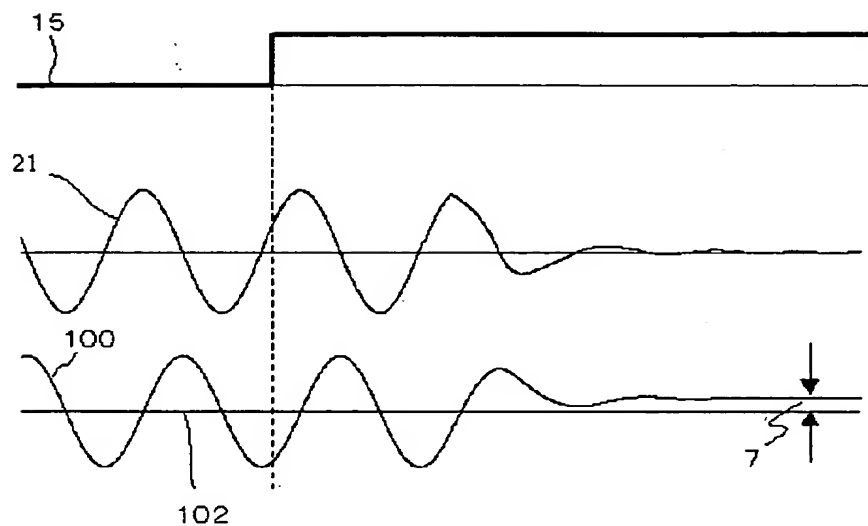
【図 9】 本発明の実施の形態 4 による変圧器励磁突入電流抑制装置を説明するための図である。

【符号の説明】

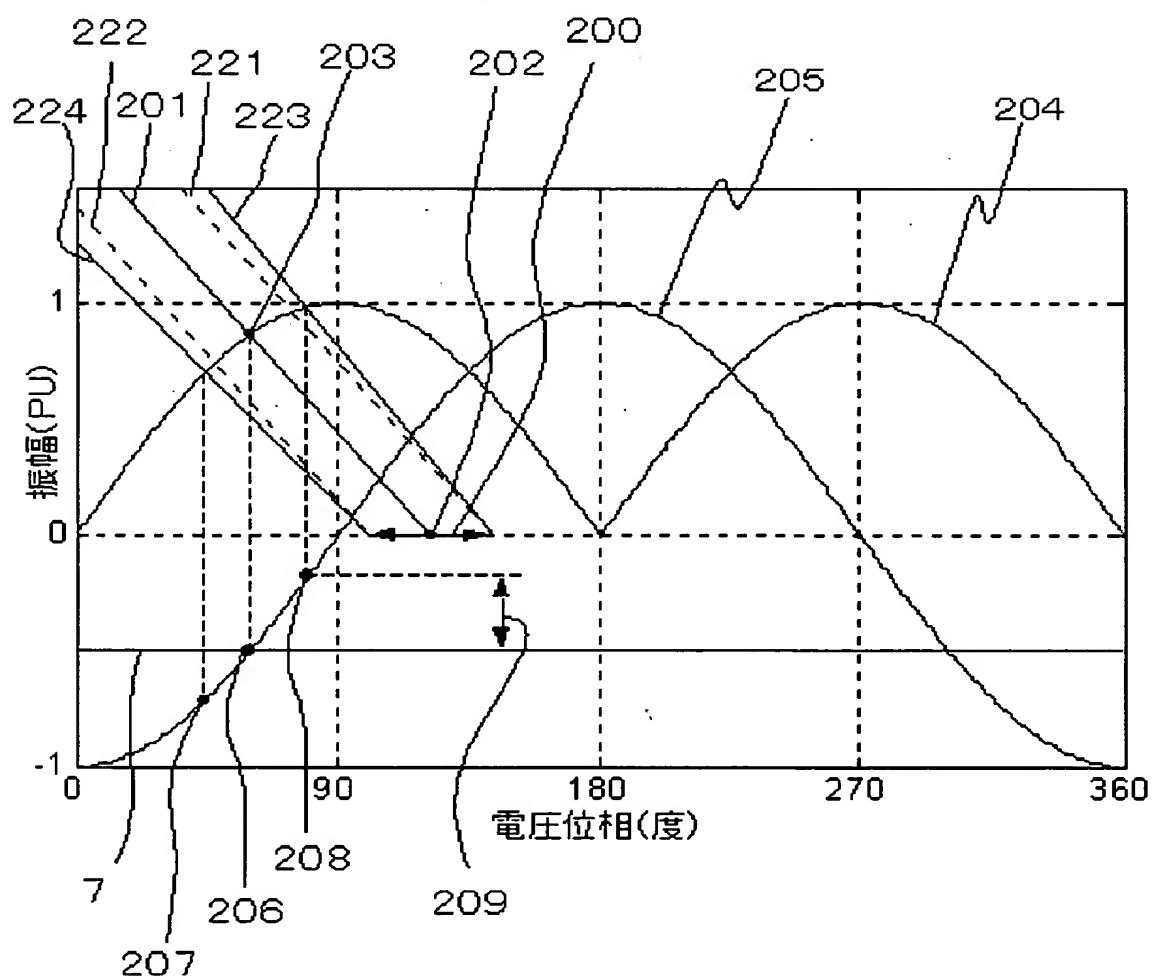
1 三相電源、2 三相遮断器、3 三相変圧器、4 電源側電圧測定手段、  
5, 6 0 5 変圧器側電圧測定手段、6, 6 0 6 残留磁束算出手段、7 0 2  
閉極時間算出手段、8 閉極順序決定手段、1 0 目標閉極位相・時刻決定手段  
、1 3, 7 1 3 閉極制御手段、1 0 0 0 制御装置。



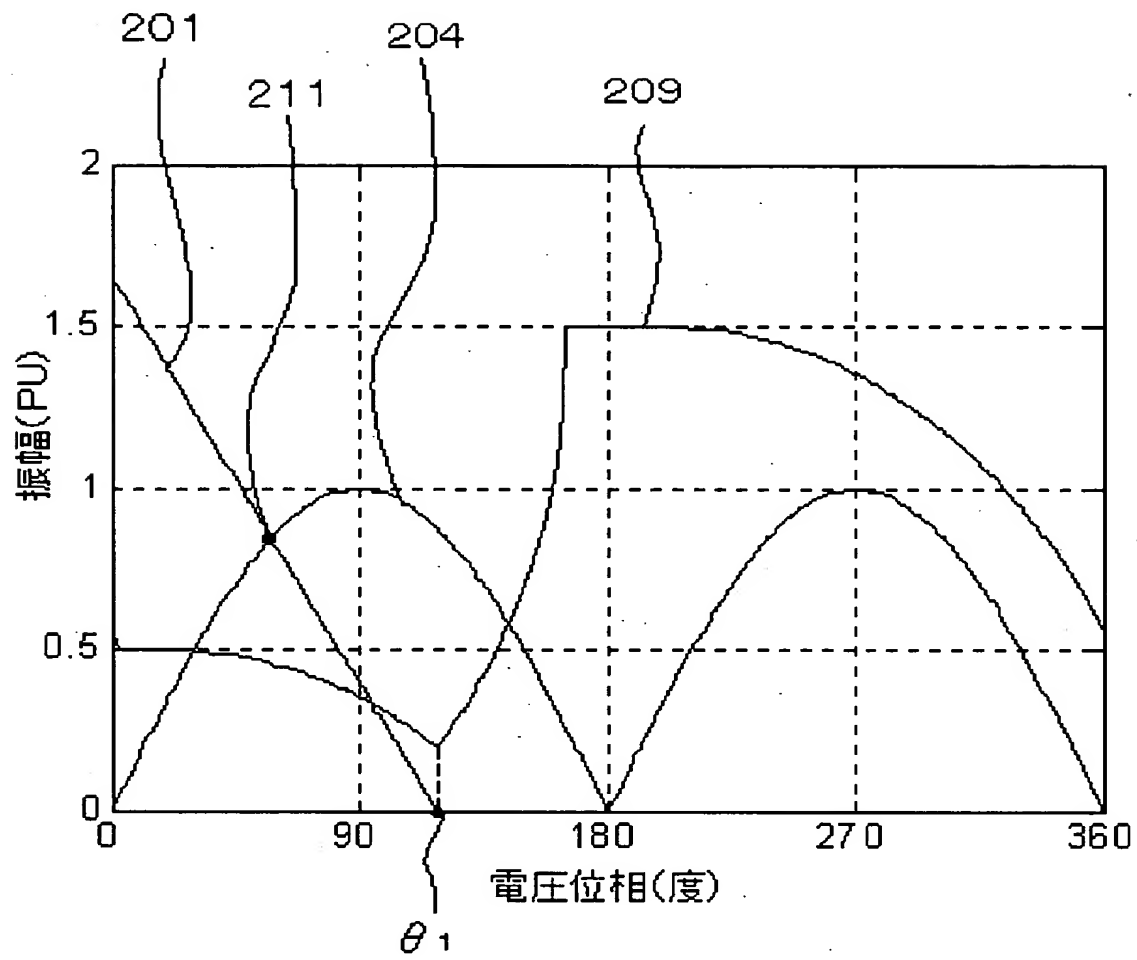
【図 2】



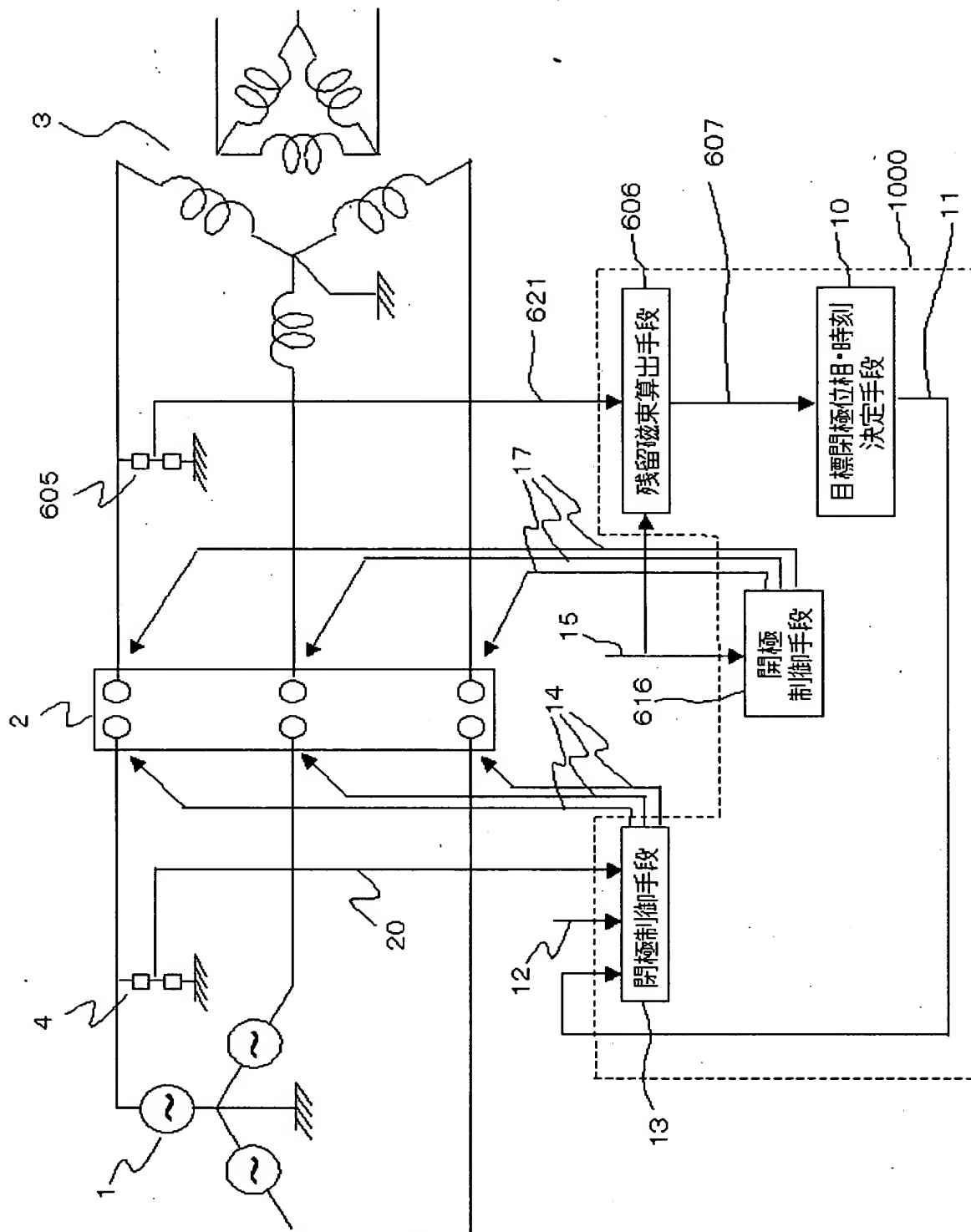
【図 3】



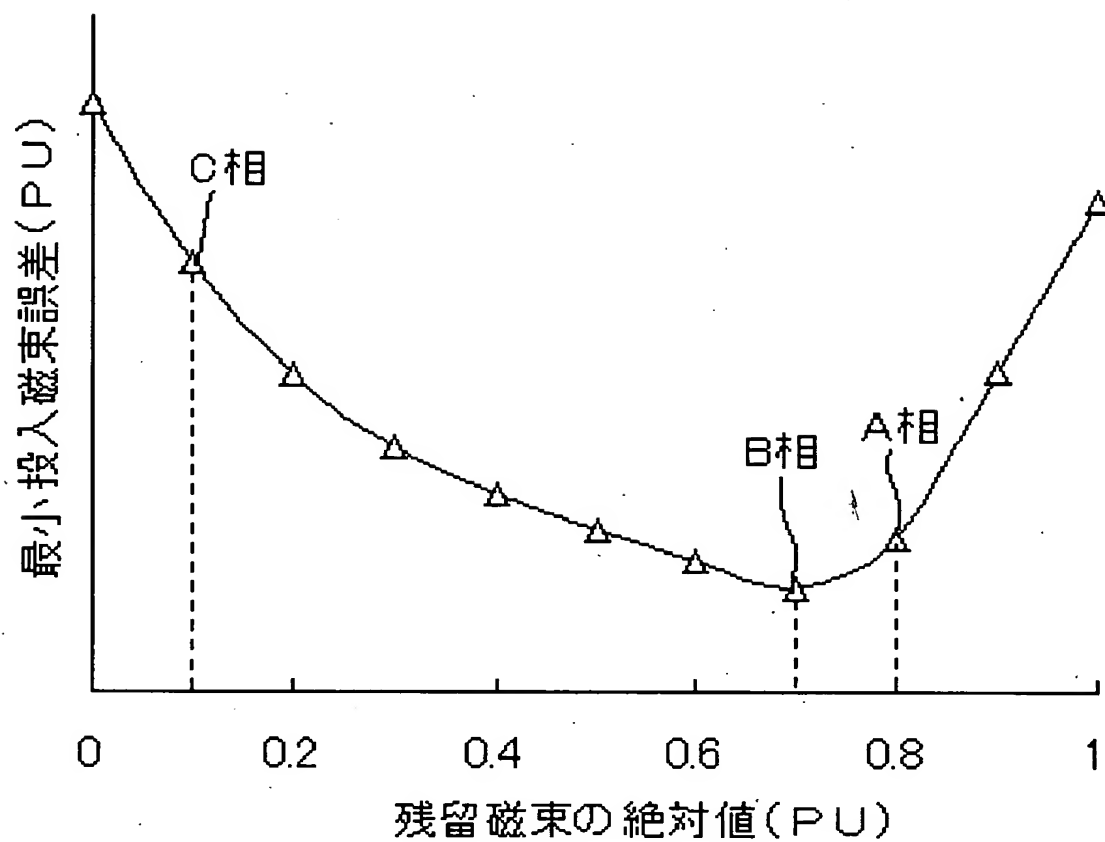
【図4】



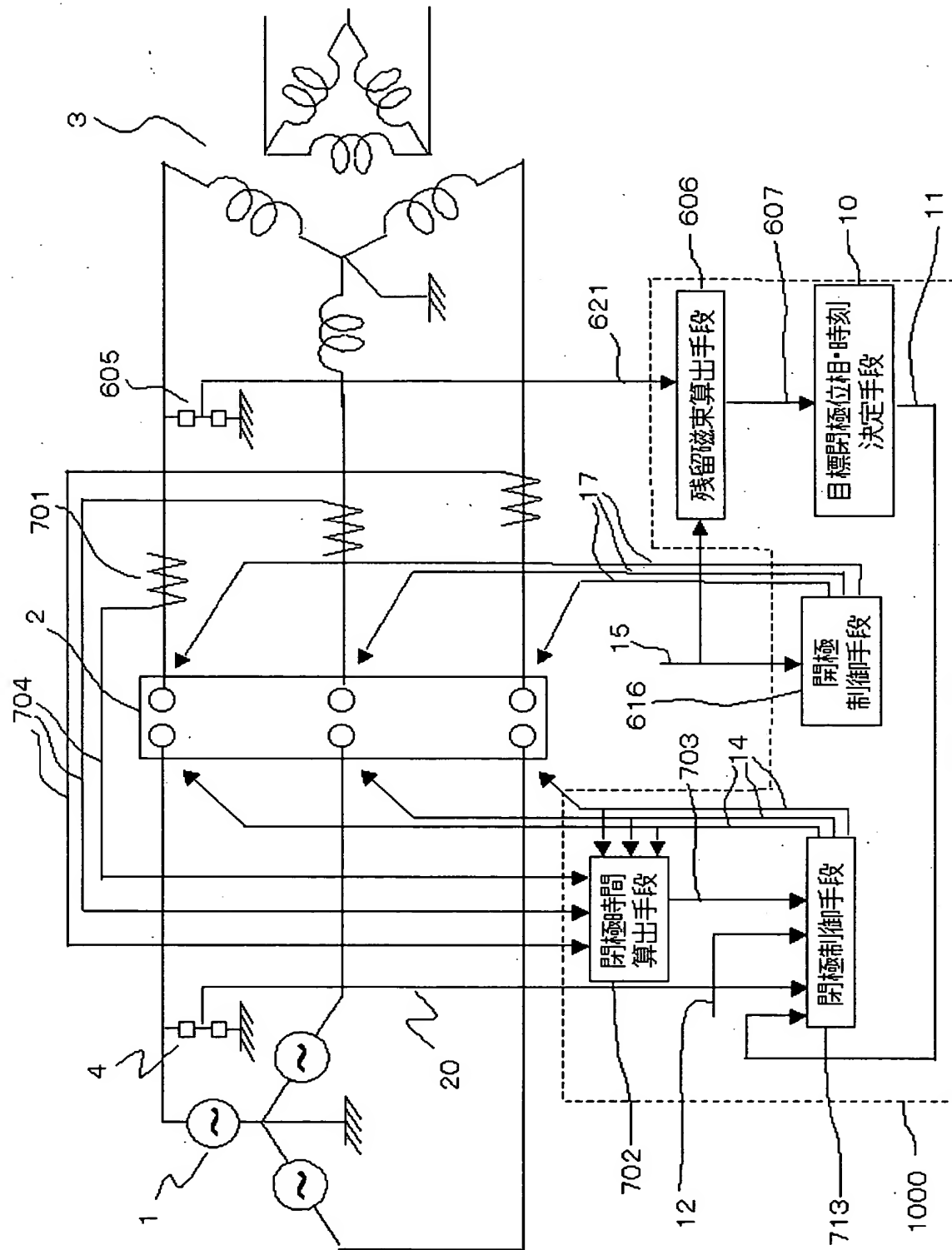
【図5】



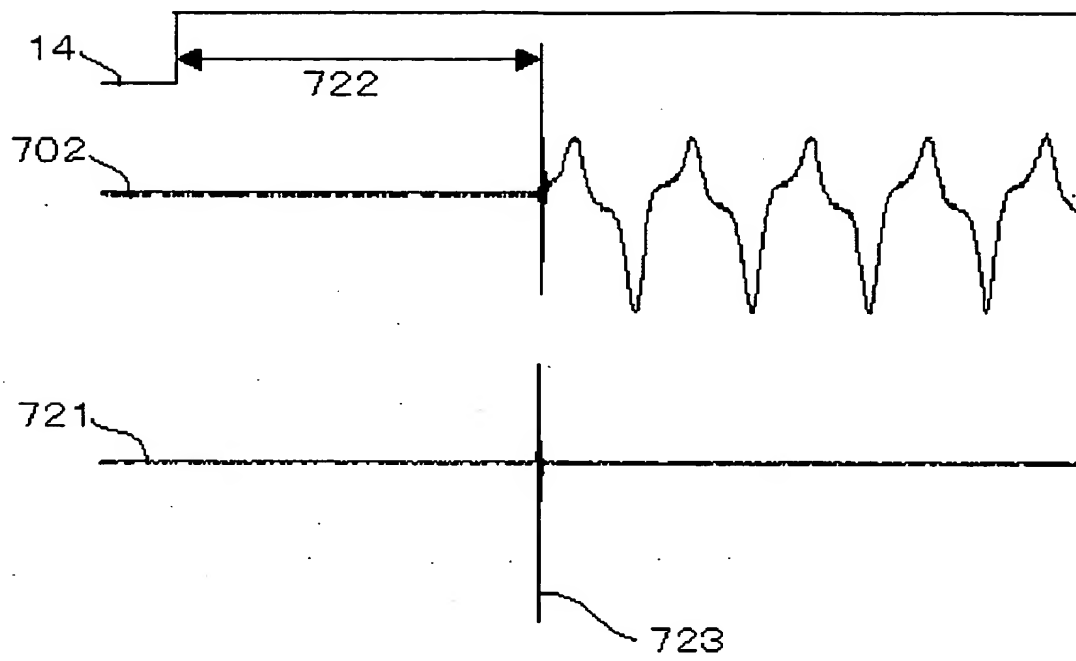
【図6】



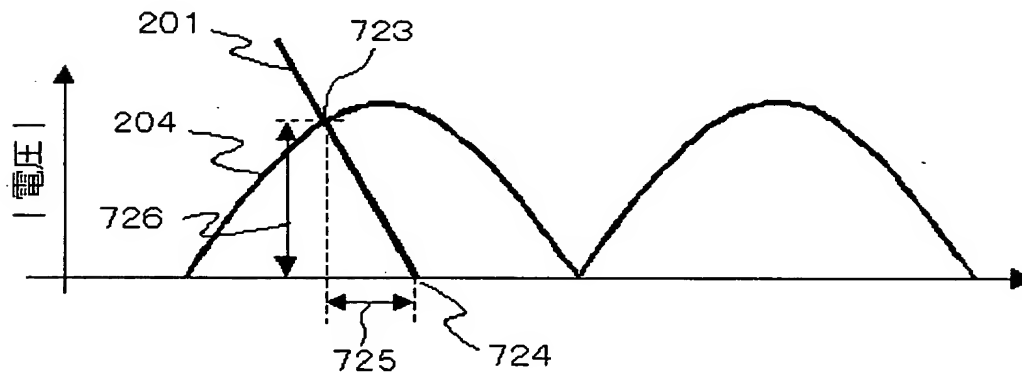
【図 7】



【図 8】



【図 9】





【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 過大な励磁突入電流の発生を防止する。

【解決手段】 閉極第一相については、基準相の位相0度を基準点として、閉極第一相の残留磁束、並びに予め求められている三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、投入点における定常磁束値と残留磁束値との最大誤差の絶対値である投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して閉極第一相の目標閉極位相として設定し、残り二相については、基準相の位相0度を基準点として、予め求められている三相遮断器のプレアーク特性および閉極時間ばらつき特性に基づいて、残留磁束が0である場合に投入磁束誤差が最小となる閉極位相を算出して残り二相の目標閉極位相として設定し、基準点から残り二相の目標閉極位相までの時間と予め設定しておいた三相電源の周期の整数倍に相当する遅延時間とを合計した時間を、残り二相の目標閉極時刻として設定する。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [000006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日  
[変更理由] 新規登録  
住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社